

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2003 年 12 月 18 日 (18.12.2003)

PCT

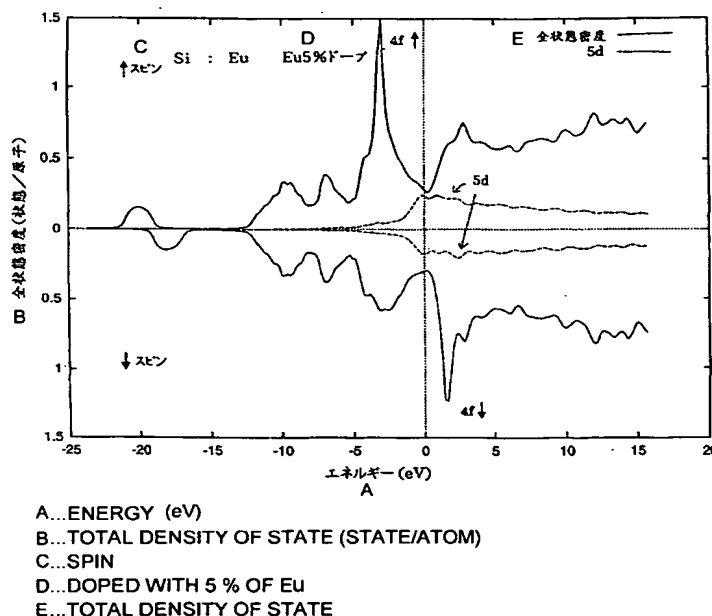
(10) 国際公開番号
WO 03/105162 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01F 10/193, G02F 1/09, G02B 27/28
- (21) 国際出願番号: PCT/JP03/07161
- (22) 国際出願日: 2003 年 6 月 5 日 (05.06.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2002-166803 2002 年 6 月 7 日 (07.06.2002) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 科学技術振興事業団 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY CORPORATION) [JP/JP]; 〒332-0012 埼玉県 川口市 本町4-1-8 Saitama (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 吉田 博 (YOSHIDA, Hiroshi) [JP/JP]; 〒666-0111 兵庫県 川西市 大和東2-82-4 Hyogo (JP). 荒木 和也 (ARAKI, Kazuya) [JP/JP]; 〒562-0031 大阪府 箕面市 小野原2丁目3番17号 第1谷川ハイ ツ 12号室 Osaka (JP). 佐藤 和則 (SATO, Kazunori) [JP/JP]; 〒562-0004 大阪府 箕面市 牧落5-2-36第一福和荘A-12 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 西 義之 (NISHI, Yoshiyuki); 〒235-0036 神奈川県 横浜市 磯子区 中原4-26-32-211 西 特許事務所 Kanagawa (JP).
- (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI,

[続葉有]

(54) Title: FERROMAGNETIC IV GROUP BASED SEMICONDUCTOR, FERROMAGNETIC III-V GROUP BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR, OR FERROMAGNETIC II-IV GROUP BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR, AND METHOD FOR ADJUSTING THEIR FERROMAGNETIC CHARACTERISTICS

(54) 発明の名称: 強磁性IV族系半導体、強磁性III-V族系化合物半導体、または強磁性II-VI族系化合物半導体とその強磁性特性の調整方法



(57) Abstract: A ferromagnetic semiconductor, which comprises a IV Group based semiconductor, a III-V Group based compound semiconductor, or a II-VI Group based compound semiconductor doped with at least one metal selected from the group consisting of the rare earth metal elements of Ce, Pr,

[続葉有]



NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb and Lu; and a method for adjusting ferromagnetic characteristics of the ferromagnetic semiconductor which comprises adjusting the concentration of a rare earth metal element, or combining two or more metals of the above rare earth metals, or further adding at least one of a p-type dopant and a n-type dopant. A IV Group based semiconductor, a III-V Group based compound semiconductor and a II-VI Group based compound semiconductor transmit a light beam, and the method allows the preparation of a semiconductor which transmits a light beam and exhibits stable ferromagnetic characteristics.

(57) 要約: 光を透過するIV族系半導体、III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体を用いて安定した強磁性特性を得る。IV族系半導体、III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体に、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの希土類金属よりなる群から選ばれる少なくとも一種の金属が含有されている。そしてこれらの希土類金属濃度の調整、およびこれらの希土類金属からの二種類以上の金属の組み合わせ、p型およびn型ドーパントの添加などにより強磁性特性を調整する。

明 細 書

- 1 強磁性IV族系半導体、強磁性III-V族系化合物半導体、または強磁性II-VI族系化合物半導体とその強磁性特性の調整方法

技術分野

- 5 本発明は、赤外光から紫外光までの光を透過するIV族系半導体、III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体に、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも1種の元素を混晶させることにより強磁性特性を実現させた単結晶の強磁性IV族系半導体、強磁性III-V族系化合物半導体、または強磁性II-VI族系化合物半導体およびこれらの半導体の強磁性特性の調整方法に関する。
- 10

背景技術

- 光を透過しながら強磁性特性を有する単結晶の強磁性薄膜が得られれば、大量の情報伝達に必要な光アイソレータや光による高密度磁気記録が可能になり、将来の大量情報伝達に必要な電子磁気材料を作製することができる。そのため、光
- 15
- を透過しながら強磁性を有する材料が望まれている。

- 一方、ダイヤモンドなどのIV族系半導体、III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体は、そのバンドギャップ (E_g) が大きく [ダイヤモンド ($E_g=5.4\text{eV}$)、ZnSe ($E_g=2.7\text{eV}$)、ZnO ($E_g=3.3\text{eV}$)、ZnS ($E_g=3.9\text{eV}$)、GaN ($E_g=3.3\text{eV}$)、AlN ($E_g=6.4\text{eV}$)、BN ($E_g=6.4\text{eV}$)]、赤色から紫外の波長の光でも透過するという
- 20

1 性質を有すると共に、そのエキシトンの結合エネルギーが大きく、これらの材料で強磁性が得られればコヒーレントなスピン状態を利用した光量子コンピュータなどスピンエレクトロニクスのための光デバイス作製のために大きな発展が期待される。

5 本発明者らは、先に、遷移金属を含有する強磁性 ZnO 系化合物およびその強磁性特性の調整方法に関する発明を特許出願した（特許文献 1）。

しかし、従来は、III-V 族系化合物半導体、または II-VI 化合物半導体に希土類金属をドーピングした強磁性状態の報告例はなく、高い強磁性転移温度（キュリー点）をもつ III-V 族系化合物半導体、または II-VI 族系化合物半導体の強磁性
10 状態の実現は報告されていない。また、シリコンテクノロジーとの関連で強磁性を示すシリコンも強磁性の報告例がなく、シリコンにおいて強磁性が実現できればその応用範囲が広がる。

特許文献 1：特開 2001-130915 号公報

15 発明の開示

前述のように、IV 族系半導体、III-V 族系化合物半導体、または II-VI 族系化合物半導体を用いて安定した強磁性特性が得られれば、そのエキシトンの結合エネルギーが大きい IV 族系半導体、III-V 族系化合物半導体、または II-VI 族系化合物半導体からなる半導体レーザなどの発光素子と組み合わせて利用することが
20 でき、しかも、磁気光学効果を利用する磁気光学スピンエレクトロニクスのデバイス応用において非常に用途が大きくなる。

さらに、前述のように、光を照射し、磁化状態を変化させることにより、強磁

1 性体メモリを構成する場合、強磁性転移温度（キュリー温度）を光の照射により
変化するような温度（室温よりわずかに高い温度）に設定するなど、強磁性特性
が所望の特性になるように作製する必要がある。

5 本発明は、このような状況に鑑みてなされたもので、光を透過するIV族系半導
体、III－V族系化合物半導体、またはII－VI族系化合物半導体を用いて、強磁性
が得られるIV族系半導体、III－V族系化合物半導体、またはII－VI族系化合物半
導体を提供することを目的とする。

10 本発明の他の目的は、強磁性IV族系半導体、強磁性III－V族系化合物半導体、
または強磁性II－VI族系化合物半導体を作成するに当り、例えば、強磁性転移温
度などの、その強磁性特性を調整することができる強磁性IV族系半導体、強磁性
III－V族系化合物半導体、または強磁性II－VI族系化合物半導体の強磁性特性を
調整する方法を提供することにある。

15 本発明者らは、光を透過する材料として特に適したワイドバンドギャップをも
つIV族系半導体、III－V族系化合物半導体、またはII－VI族系化合物半導体を用
い、強磁性特性を有する単結晶を得るため鋭意検討を重ねた。

20 その結果、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの
希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属は、非平衡結晶成
長法により低温でIV族系半導体のSiや、III－V族系化合物半導体のGaやII－VI族
系化合物半導体のZnなどの金属イオンの1at%～25at%程度を置き換え（混晶化
させ）ても十分に単結晶が得られることを見出した。

また、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの希土
類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属をIV族系半導体、III－

1 V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体に混晶させると、電子状態
の変化によりホールまたは電子をドーピングする（電子を増やしたり減らす）こと
により、強磁性が得られることを見出した。

ただし、III-V系化合物半導体にGdを単独で混晶しても強磁性を示さないが、
5 この場合も酸素などのドナーをドーピングすることにより強磁性が得られることを見
出した。

さらに、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの
希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属をIV族系半導体、
III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体に混晶させることによ
10 り、4f電子にホールを添加したのと同様の効果が得られることを見出した。

このように、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLu
の希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属をIV族系半導体、
III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体に混晶させるだけで安
定した強磁性状態にすることができる。

15 そして、本発明者らが、さらに鋭意検討を重ねた結果、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、
Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの希土類金属元素は、電子スピン $s =$
 $1/2$ 、 1 、 $3/2$ 、 2 、 $5/2$ 、 3 、 $7/2$ をもつ高スピン状態となり、その含有濃度を変化
したり、これらの元素の2種類以上の組合せや、その割合を変えた混晶にしたり、
n型および／またはp型のドーパントを添加したりすることにより、強磁性転移温
20 度を変化させ得ることを見出した。

また、同様にして、反強磁性や常磁性状態より強磁性状態を安定化させ得るこ
と、その強磁性状態のエネルギー（例えば、僅かの差で反強磁性的なスピングラ

1 ス状態になるが、通常は強磁性状態を維持するエネルギー)を調整し得ることを見出した。

さらに、前述の希土類金属元素の種類により最低透過波長が異なり、これらの元素の2種類以上を選択的に混晶することにより、所望のフィルタ機能をもたせ
5 得ることを見出した。

このように、これらの希土類金属元素の濃度や混合割合を調整することにより、所望の磁気特性を有する単結晶で、かつ、強磁性のIV族系半導体、III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体が得られる。

すなわち、本発明の強磁性IV族系半導体、強磁性III-V族系化合物半導体、ま
1 0 たは強磁性II-VI族系化合物半導体は、IV族系半導体、III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体に、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属が含有されているものである。

ここに、IV族系半導体とは、Si、ダイヤモンド、またはGeである。また、III-V
1 5 V族系化合物半導体とは、III族原子であるB、Al、Ga、In、またはTlとV族原子であるN、P、As、Sb、またはBiとの組み合わせからできる化合物であり、具体的には、GaAs、GaSb、GaP、GaN、AlN、InN、またはBN等である。また、II-VI族系化合物半導体とは、II族原子であるBe、Mg、Zn、Cd、Hg、Ca、Sr、またはBaとVI族原子であるO、S、Se、またはTeとの組み合わせからできる化合物であり、具体的
2 0 的には、ZnSe、ZnS、ZnTe、ZnO、CdS、またはCdSe等である。

前述の希土類金属元素は、Zn、Cd、Ga、AlやInなどの金属元素とイオン半径が比較的近く、非平衡結晶成長法により低温で1at%~25at%位まで固溶しても母

1 体半導体構造の単結晶を維持すると共に、その透明性を維持しながら、母体半導体構造で強磁性の性質を呈する。

前記、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも2種の金属が前述の半導体に含有
5 されることにより、その金属元素の4f電子の原子準位とp-f混成の状態がそれぞれ異なり、ホールまたは電子をドーピングするよりも直接的に、これらの強磁性特性が変化し、強磁性転移温度などの強磁性特性を調整することができる。

n型ドーパントまたはp型ドーパントの少なくとも一方がドーピングされても、ドーパントは、IV族系半導体、III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体の母体に入るため、希土類金属元素間の影響のように直接的ではないが、
10 IV族系半導体、III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体を構成する原子に近い4f電子に作用して、ホールまたは電子が変動し、その強磁性特性を調整することができる。

本発明によるIV族系半導体、III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体の強磁性特性の調整方法は、IV族系半導体、III-V族系化合物半導体、
15 またはII-VI族系化合物半導体に、

- (1) Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも2種の金属元素、
- (2) 前記希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも2種の金属元素と、
20 Th、Pa、U、Np、Pu、Am、Cm、Bk、Cf、Es、Fm、Md、NoおよびLrよりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属元素、および
- (3) 前記(1)または(2)と、n型ドーパントおよびp型ドーパントの少なくとも

1 一方、
、
のいずれかを添加し、前記希土類金属元素の組合せにより強磁性IV族系半導体、
強磁性III-V族系化合物半導体、または強磁性II-VI族系化合物半導体の強磁性
特性を調整することを特徴とする。

5 また、IV族系半導体、III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導
体に、

(1) Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの希土類
金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属元素

(2) 前記希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属元素と、
10 Th、Pa、U、Np、Pu、Am、Cm、Bk、Cf、Es、Fm、Md、NoおよびLrよりなる群から
選ばれる少なくとも1種の金属元素、および

(3) 前記(1)または(2)と、n型ドーパントおよびp型ドーパントの少なくとも一
方、

のいずれかを添加し、前記希土類金属元素、Th、Pa、U、Np、Pu、Am、Cm、Bk、

15 Cf、Es、Fm、Md、NoおよびLrよりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属元素、
またはn型ドーパントもしくはp型ドーパントの濃度の調整により強磁性IV族系半
導体、強磁性III-V族系化合物半導体、または強磁性II-VI族系化合物半導体の
強磁性特性を調整することを特徴とする。

具体的には、前記方法により、強磁性特性の一つである強磁性転移温度を所望

20 の温度に調整することができる。

また、前記(2)に列記される希土類金属元素の少なくとも1種以上とアクチニ
ド元素の少なくとも1種以上を混晶させ、強磁性のエネルギー状態を調整すると

1 共に、該金属元素自身により導入されたホールまたは電子による運動エネルギー
によって全エネルギーを低下させることにより、強磁性状態を安定化させること
ができる。

5 また、前記(2)に列記される希土類金属元素の少なくとも1種以上とアクチニ
ド元素の少なくとも1種以上を混晶させ、該希土類金属元素自身により導入され
たホールまたは電子によって、金属原子間の磁氣的相互作用の大きさと符号を制
御することにより、強磁性状態を安定化させることができる。

さらに、前記(2)に列記される希土類金属元素の少なくとも1種以上とアクチ
ニド元素の少なくとも1種以上を混晶させ、該希土類金属元素自身により導入さ
1 0 れたホールまたは電子によって、金属原子間の磁氣的相互作用の大きさと符号を
制御すると共に、該希土類金属元素とアクチニド元素との混晶による光の透過特
性を制御することにより、所望の光フィルタ特性を有する強磁性IV族系半導体、
強磁性III-V族系化合物半導体、または強磁性II-VI族系化合物半導体とするこ
とができる。

1 5 さらに、希土類金属磁性半導体の磁気状態を反映した、希土類元素固有のシャ
ープで温度変化しない発光を用いて円偏光した光を発生させることができる。

紫外光で励起したときの発光波長の温度依存性を観測すると液体ヘリウム温度
から室温まで全く変化しないが、これは4f内殻電子の基底状態と励起状態にエ
ネルギー準位がシャープであり、格子振動や母体半導体の湿度依存性の影響を全
2 0 く無視できるため温度変化しないと考えられる。これまで、AlGaSb発光素
子による発光を用いた光通信が行われているが、このとき、温度変化による波長
変化が起こるためにペルチェ素子などの使用を必要としている。本発明の半導体

1 は、温度によって波長変化しないことから、高性能光通信に適する。

4 f 電子がゼロの La を除くランタノイド元素に属する希土類金属イオンの 4 f 電子状態は希土類金属の原子位置に強く局在し、高スピン状態による大きな電子スピンと軌道角運動量による軌道角運動量スピンをもっている。また、4 f 電子と価電子の 5 d 電子は 1eV (8000K に相当) の強い強磁性スピン相互作用をしている。これらを半導体に固溶することにより強磁性状態が安定化し、半導体中のバンドギャップに形成されるバンド幅の狭い、部分的に電子によって占有された、電子相関エネルギーの大きな不純物バンドを利用して、バンドエネルギーの利得により、強磁性状態を実現することが出来る。

1 0 第 1 図は、Si に Gd を 5at% ドープしたときの全状態密度と 5 d の部分状態密度である。↑スピンと↓スピンの全状態密度から鋭いピークをつくるものは 4 f 電子状態であり、↑スピンと↓スピンで大きな交換分裂が生じ、大きな磁気モーメントを持つ強磁性状態となっていることがわかる。

1 5 第 2 図は、Si に Eu を 5at% ドープしたときの全状態密度と 5 d の部分状態密度である。↑スピンと↓スピンの全状態密度から鋭いピークをつくるものは 4 f 電子状態であり、↑スピンと↓スピンで大きな交換分裂が生じ、大きな磁気モーメントを持つ強磁性状態となっていることがわかる。

2 0 第 3 図は、Si に Ce を 5at% ドープしたときの全状態密度と 5 d の部分状態密度である。↑スピンと↓スピンの全状態密度から鋭いピークをつくるものは 4 f 電子状態であり、↑スピンと↓スピンで大きな交換分裂が生じ、大きな磁気モーメントを持つ強磁性状態となっていることがわかる。

本発明により、希土類元素の種類の選択や濃度の調整により、例えば、AlN や G

1 aNで室温を超える400K以上の高い強磁性転移温度をもつ可視光を通す、透明な強磁性半導体が得られる。また、強磁性で透明な物質を光が透過するとき光の円偏方向が回転する効果をカー効果という。大きな回転角が得られる方が光アイソレータなどの磁気光学効果を利用したデバイスとしての性能が優れている。

5 GaNやAlNにEuをドーピングしたものやGd+Oをドーピングしたものでは可視領域で下記のような大きなカー回転角（室温において、3mmの厚さ）が得られる。

GaN:Eu(10at%)120°

AlN:Eu(8at%)105°

GaN:Gd(5at%)+O(5at%)110°

10 AlN:Gd(10at%)+O(10at%)130°

例えば、GaNやAlNのGaやAl位置をEuで置換するとEu³⁺となるが、電子ドーピングすることにより大きく強磁性転移温度を制御することができ、カー回転角の大きさについてもEu不純物濃度と電子ドーピング量とを調整することによりその大きさを0から150度程度まで制御できる。

15 カー効果による巨大な磁気光学効果がえられるため、磁気光学光を使ったメモリーや演算装置または光アイソレータなどにおいて、高性能かが期待される。また、遷移金属を含有させた場合は3d電子間の遷移により、その発光は幅の広い連続的なエネルギースペクトルとなり、しかも、温度に対してその波長が大きく変化する。これに対して、希土類金属は局在した4f電子間の遷移によるものであり、シャープなスペクトルを持ち、しかも、温度に対してその波長が全く変化しない利点があり、将来のスピンエレクトロニクスを利用した情報通信に極めて有用である。

20

1

図面の簡単な説明

第1図は、Si中のGdの強磁性状態における電子状態密度である。第2図は、Si中のEuの強磁性状態における電子状態密度である。第3図は、Si中のCeの強磁性状態における電子状態密度である。第4図は、Gd、Tb、またはDyなどの希土類金属をSiに混晶させたときの反強磁性的スピングラス状態の全エネルギーと強磁性状態の全エネルギーとの差 ΔE を示す図である。第5図は、本発明の強磁性シリコン薄膜を形成する装置の一例を示すMBE装置の模式図である。第6図は、Siに混晶させる希土類金属の濃度を変えたときの強磁性転移温度の変化を示す図である。

第7図は、2種類以上の希土類金属元素を混晶させたときのその割合による強磁性転移温度の変化の状態を説明する図である。第8図は、Gdを例としたn型およびp型のドーパントを添加したときの磁性状態の変化を示す説明図である。第9図は、実施例1の強磁性半導体の強磁性転移温度を示すグラフである。第10図は、実施例2の強磁性半導体の強磁性転移温度を示すグラフである。第11図は、実施例3の強磁性半導体の強磁性転移温度を示すグラフである。

1 5

発明を実施するための最良の形態

次に、図面を参照しながら本発明の強磁性IV族系半導体、強磁性III-V族系化合物半導体、または強磁性II-VI族系化合物半導体およびその強磁性特性の調整方法について説明する。本発明の強磁性IV族系半導体、強磁性III-V族系化合物半導体、または強磁性II-VI族系化合物半導体は、IV族系半導体、強磁性III-V族系化合物半導体、または強磁性II-VI族系化合物半導体に、Ce、Pr、Nd、Pm、

2 0

- 1 Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属が含有されている。

以下、IV族系半導体としてSiを用いた場合について主に説明する。IV族系半導体のSiを用いて強磁性材料を得る場合、Gd、TbまたはDyなどの希土類金属元素は、
5 反強磁性的なスピングラス状態よりも、4f電子が母体半導体Siの3p電子と強くp-f混成することにより、第4図における反強磁性スピングラス状態の全エネルギーと強磁性状態の全エネルギーとの差 ΔE が示されるように、いずれも、これらの希土類金属元素のみを単独で混晶させるだけで強磁性を示す。

この混晶割合は、Siに対して5at%の例であるが、混晶割合としては、数at%
10 でも強磁性を示し、また、多くしても結晶性を害することがなく、1at%から100at%、好ましくは5at%~25at%であれば、十分な強磁性を得やすい。この希土類金属元素は1種類である必要はなく、後述するように2種類以上を混晶化（合金化）することができる。

第5図は、このような希土類金属元素を含有するSiの薄膜を成膜するための装置
15 の一例であるMBE装置の模式図であり、該装置は、 1.33×10^{-6} Pa程度の超高真空を維持できるチャンバー1内の基板ホルダー4に、例えば、Si、SiCやサファイアなどからなる基板5を設置し、ヒータ7により基板5を加熱できるようになっている。

そして、基板ホルダー4に保持される基板5と対向するように、成長する化合物
20 を構成する元素の材料（ソース源）Siを入れたセル2a、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも1種以上の金属を入れたセル（1個しか示されていないが、2種

1 類以上を混晶させる場合は2個以上設けられている) 2b、n型ドーパントのP、
AsやSbなどを入れたセル2c、p型ドーパントのB、AlやGaを入れたセル2d、ラジカ
ルSiを発生させるRFラジカルセル3aが設けられている。なお、Siや希土類金属な
5 どの固体原料は、これらの金属のSi化合物をセルに入れて原子状にすることもで
きる。

なお、固体(単体)を入れるセル2a~2dは、図示されていないが、それぞれ
に設けられ、加熱により固体ソースを原子状にして蒸発させられるようになって
おり、ラジカルセル3aは、RF(高周波)コイル8により活性化させている。こ
のSi、希土類金属元素およびn型ドーパント材料としては、純度99.99999%の固
10 体ソースを原子状にし、使用する。なお、Siや希土類金属元素は分子ガスにマイ
クロ波領域の電磁波を照射することにより原子状にすることもできる。

そして、Si薄膜6を基板5上に成長させながら、n型ドーパントのP、SbやAsを
流量 1.33×10^{-5} Paで、さらに、p型ドーパントである原子状B、AlやGaを 6.65×10^{-5} Pa
で、また、例えば、Gd、TbまたはDyの原子状希土類金属元素を 1.33×10^{-5} Pa
15 で、同時に基板5上に流しながら、350~800℃で成長することにより、希土類金
属元素を混晶させたSi薄膜6を成長させることができる。

以上の説明では、n型ドーパントやp型ドーパントをドーピングする例で説明し
ているが、前述の第4図および後述する表1および表2の例は、いずれのドーパ
ントもドーピングしないで、Gd、TbまたはDyをドーピングした例である。

20 このようにして、Gd、TbまたはDyを混晶させたSi薄膜は、第4図に示されるよ
うに、Gd、TbまたはDyが、反強磁性的スピングラス状態エネルギーと強磁性状態
のエネルギーの差 ΔE が、それぞれ、 $4.08(2.04) \times 13.6\text{meV}$ 、 $5.14(2.57) \times 13.6\text{meV}$

1 V、 $1.10(0.55) \times 13.6 \text{ meV}$ と大きく、強磁性を示していることが分かる。

この例では、Siに希土類金属元素をドーピングしたが、GaNのⅢ－Ⅴ族系窒化物では、バンドギャップの大きさが大きいのみであり、しかも、GaNと同様の4配位構造であり、バンドギャップが異なるのみであるので、同じように、TbまたはDy
5 をドーピングして強磁性の単結晶が得られる。

ただし、Gd(5at%)の場合はドナーとして酸素を1at%以上、好ましくは3at%以上ドーピングすることによりn型キャリアをドーピングして強磁性体となる。また、Gd(10at%)の場合には、ドナーとして酸素を2at%以上、好ましくは5at%以上ドーピングすることによりn型キャリアをドーピングして強磁性体となる。

10 本発明の強磁性Siによれば、希土類金属元素を混晶させているため、Si原子がGd³⁺、Tb³⁺やDy³⁺などの希土類金属元素と置換されて、ダイヤモンド構造を維持する。しかも、Gd、Tb またはDyなどの前述の希土類金属元素は、ホールが増加する電子構造になっており、第4図に示されるように、このままの状態でも強磁性状態で安定する。しかも、この強磁性Siは、後述する表1および表2にも示されるように、その磁気モーメントが大きく、 $7 \mu\text{B}$ (ボーア磁子)、 $9 \mu\text{B}$ 、および
15 $10 \mu\text{B}$ の磁気モーメントを持つGd、TbおよびDy含有のSi系化合物が得られ、非常に磁性の強い強磁性磁石が得られる。

次に、希土類金属元素の濃度を変えることによる磁気特性の変化を調べた。前述の25at%濃度の希土類金属元素を含有させたものの他に濃度が5、10、15、20at
20 %のものを作製し、それぞれの磁気モーメント ($\times 9.247 \text{ J/T}$) および強磁性転移温度 (度K) を調べた。磁気モーメントおよび強磁性転移温度はSQUID (superconducting quantum interference device ; 超伝導量子干渉素子) による帯磁率

の測定から得られたものである。

その結果が表 1 および表 2 に示されている。表 1 および表 2 から、混晶割合が大きくなる（濃度が高い）ほど強磁性転移温度が上昇する傾向が見られ、混晶割合にほぼ比例して増加する。この関係を第 6 図に示す。また、スピン間の強磁性的相互作用も希土類金属元素濃度の増加に伴って増大することが分かる。

(表 1)

希土類金属の種類	希土類金属の濃度 (at%)	磁気モーメント (μ_B)	強磁性転移温度 (度 K)
Gd	5	6.98	455
Tb	5	8.97	468
Dy	5	9.45	512

(表 2)

希土類金属の種類	希土類金属の濃度 (at%)	磁気モーメント (μ_B)	強磁性転移温度 (度 K)
Gd	25	6.85	690
Tb	25	8.87	860
Dy	25	9.40	880

前述のように、希土類金属元素では、Gdは電子スピン $s = 7/2$ 、軌道角運動量 $L = 0$ 、をもつ高スピン状態となり、また、Tbは電子スピン $s = 3$ 、軌道角運動量 $L = 3$ 、また、Dyは電子スピン $s = 5/2$ 、軌道角運動量 $L = 5$ 、をもつ高スピン状態となり、この表 1 および表 2、および第 6 図からも明らかなように、その濃度を変化させることにより、強磁性的なスピン間相互作用と強磁性転移温度を調整し、制御することができることが分かる。なお、強磁性転移温度は、300度K以上になるようにすることが、実用上好ましい。

1 さらに、本発明者らは、これらの希土類金属元素を2種類以上混晶させること
により、ホールや電子の状態を調整できると共に、それぞれの磁気特性を併せも
たせることができることを見出した。例えば、Gd、Tb、またはDyとLuを混晶させ、
DyとLuを合せて25at%とし、 $\text{Dy}_{0.25-x}\text{Lu}_x\text{Si}_{0.75}$ の x を種々変化させた。その結果、
5 第7図に示されるように、強磁性転移温度を大きく変化させることができ、 $x =$
 0.04 で0度Kとすることができた。

$x=0\sim0.10$ の範囲を選定することにより、所望の強磁性転移温度に設定するこ
とができる。また、TbとLuを同様に合せて25at%混晶させ、 $\text{Tb}_{0.25-x}\text{Lu}_x\text{Si}_{0.75}$ の x
を種々変化させることができる。また、図示されていないが、磁気モーメントに
10 ついても両者の混合割合に応じた磁気モーメントが得られる。

前述の各例は、希土類金属元素を2種類以上ドーピングすることにより、その強磁
性特性を変化させたが、上記の希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくと
も1種の金属元素と、5f電子がゼロのAcを除くアクチニド元素に属するTh、Pa、
U、Np、Pu、Am、Cm、Bk、Cf、Es、Fm、Md、NoおよびLrよりなる群から選ばれる少
15 なくとも1種の金属元素をドーピングした場合も、それぞれの濃度を変えることによ
り磁気モーメントや強磁性転移温度を調整することができる。

さらに、n型ドーパントまたはp型ドーパントをドーピングしても、同様にホールま
たは電子の量を変化させることができ、その強磁性状態を変化させることができ
る。

20 この場合、n型ドーパントまたはp型ドーパントは、Siの伝導帯や価電子帯に入
り、その近くにある希土類金属元素の4f電子に作用するため、必ずしもドーピ
ングされたドーパントがそのまま全て作用することにはならないが、4f電子に

1 作用することにより、その強磁性状態を変化させ、強磁性転移温度にも変化を与える。

例えば、n型ドーパントをドーピングすることにより、電子を供給したことになり、Gd、Tb、またはDy、Luを混晶させながらn型ドーパントをドーピングことは、前述
5 のGd、Tb、またはDyにさらにLuを添加するのと同様の効果が得られる。

例えば、n型ドーパントまたはp型ドーパント（電子またはホール）のドーピングによる（反強磁性スピングラス状態のエネルギー）－（強磁性状態エネルギー）＝ ΔE の変化が顕著であるGdをSiに混晶させた例で、不純物をドーピングしたときの不純物濃度（at%）に対する ΔE の関係を第8図に示す。

1 0 このように、ホールの導入により強磁性が安定化し、一方、電子ドーピングにより強磁性が消失するので、その強磁性特性を調整することができる。Gd、Tb、またはDyなどの希土類金属元素は、元々強磁性を示し、反強磁性スピングラス状態との間でこれほど大きな変化はないが、同様の強磁性状態を変化させることができ、強磁性転移温度を調整することができる。

1 5 なお、このドーパントによる調整は、前述の2種類の希土類金属を混晶する調整と異なり、磁気モーメントそのものはSiに混晶させた希土類金属の材料により定まる値を維持する。

n型ドーパントとしては、P、AsまたはSbを使用することができ、ドーピングの原料としては、これらのSi化合物を使用することもできる。また、ドナー濃度と
2 0 しては、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上であることが好ましい。例えば、 $10^{20} \sim 10^{21} \text{cm}^{-3}$ 程度にドーピングすれば、前述の混晶割合の1～10at%程度に相当する。また、p型ドーパントとしては、前述のようにB、AlまたはGaを用いることができる。

- 1 ワイドギャップ半導体であるⅡ－Ⅵ族系化合物半導体やⅢ－Ⅴ族系化合物半導体に混晶させる希土類金属元素により、その透過する最小の波長が異なり、混晶する希土類金属元素を2種類以上混合することにより、その通す光の最小波長を調整することができ、所望の波長以下の光をカットする光フィルタを形成することができ、すなわち、所望の波長の光を透過させる強磁性のⅢ－Ⅴ族系窒化物 (GaN) が得られる。前述の各希土類金属元素を5at%GaNに混晶させたときの通す光の最小波長は表3に示す通りになった。ただし、Gdは酸素を5at%ドープした。すなわち、この例によれば、所望の波長の光に対して、透明な強磁性磁石を得ることができる。

10 (表3)

希土類金属の種類	希土類金属の濃度 (at%)	最小波長 (nm)
GaN : Gd	5	420
GaN : Tb	5	380
GaN : Dy	5	370

- 15 以上のように、本発明によれば、混晶される希土類金属元素自身などにより導入されたホールまたは電子の運動エネルギーによって、全エネルギーを変化させることができ、その全エネルギーを低下させるように導入するホールまたは電子を調整しているため、強磁性状態を安定化させることができる。また、導入されるホールまたは電子によって希土類金属原子間の磁氣的相互作用の大きさおよび
- 20 符号が変化し、そのホールまたは電子によってこれらを制御することにより、強磁性状態を安定化させることができる。

前述の例では、希土類金属元素を含有する薄膜を成膜する方法として、MBE (

- 1 分子線エピタキシー) 装置を用いたが、MOCVD (有機金属化学気相成長) 装置でも同様に成膜することができる。この場合、Ga、Alや希土類金属などの金属材料は、例えば、ジメチルガリウムやジメチルアルミニウムなどの有機金属化合物として、MOCVD装置内に導入する。
- 5 このようなMBE法やMOCVD法などを用いれば、非平衡状態で成膜することができ、所望の濃度で遷移金属元素などをドーピングすることができる。成膜の成長法としては、これらの方法に限らず、Ga窒化物固体、Al窒化物固体、希土類金属元素金属の固体をターゲットとし、活性化したドーパントを基板上に吹きつけながら成膜するレーザアブレーション法でも薄膜を成膜することができる。
- 10 さらに、希土類金属元素やその酸化物を原料としてドーブする場合、ラジオ波、レーザ、X線、または電子線によって電子励起して原子状にするECRプラズマを用いることもできる。n型ドーパントやp型ドーパントでも同様にECRプラズマを用いることができる。このようなECRプラズマを用いることにより、原子状にして高濃度までドーブすることができるというメリットがある。

1 5 (実施例)

実施例 1

- AlNに希土類金属を 5 at% ドーブしたときの、強磁性転移温度を第 9 図に示す。室温を超える 300 K 以上の高い強磁性転移温度を示し、希土類金属の種類の選択により強磁性転移温度を調整することができ、可視光を通す、透明な強磁性半
- 20 導体を得られた。また、強磁性転移温度は (T_c) は、混入させる希土類金属の濃度 (C) のルートに比例する ($T_c \propto \sqrt{C}$) ことが実験から明らかになった。

実施例 2

1 GaNに希土類金属を5 at%および10 at%ドープしたときの、強磁性転移温度を第10図に示す。室温を超える400 K以上の高い強磁性転移温度を示し、希土類金属の種類を選択及び濃度の調整により強磁性転移温度を調整することができ、可視光を通す、透明な強磁性半導体が得られた。

5 実施例3

GaNにGdを5 at%ドープしたときの、ドナーである酸素のドープ濃度と強磁性転移温度を第11図に示す。GaNにGdをドープしたものは単独では強磁性を示さないが、ドナーである酸素をドープすることにより、ドナー濃度を変化させて強磁性転移温度を調整できることが明らかである。

10

産業上の利用可能性

本発明によれば、IV族系半導体、III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体にCe、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属を含有させるだけで、大きな磁気光学効果を持ち、室温を超える高い強磁性転移温度をもつ強磁性単結晶が得られるため、強磁性半導体スピニエレクトロニクス材料として、すでに実現しているn型およびp型の透明電極として使用されているZnOや透明伝導酸化物(TCO)、光ファイバと組み合わせることにより、量子コンピュータや大容量光磁気記録、また、可視光から紫外領域に亘る光エレクトロニクス材料として、
15
20 高性能な情報通信、量子コンピュータへの応用が可能となる。

また、本発明の半導体は、4f希土類のf電子内殻遷移を反映し、室温までは全く温度変化することなく一定の波長の発光が得られる。このことから、p型お

- 1 よびn型の半導体に調整することができ、巨大な磁気光学効果を有する透明な強磁性半導体や円偏光発光デバイス（スピン半導体レーザー）に応用できる。

5

1 0

1 5

2 0

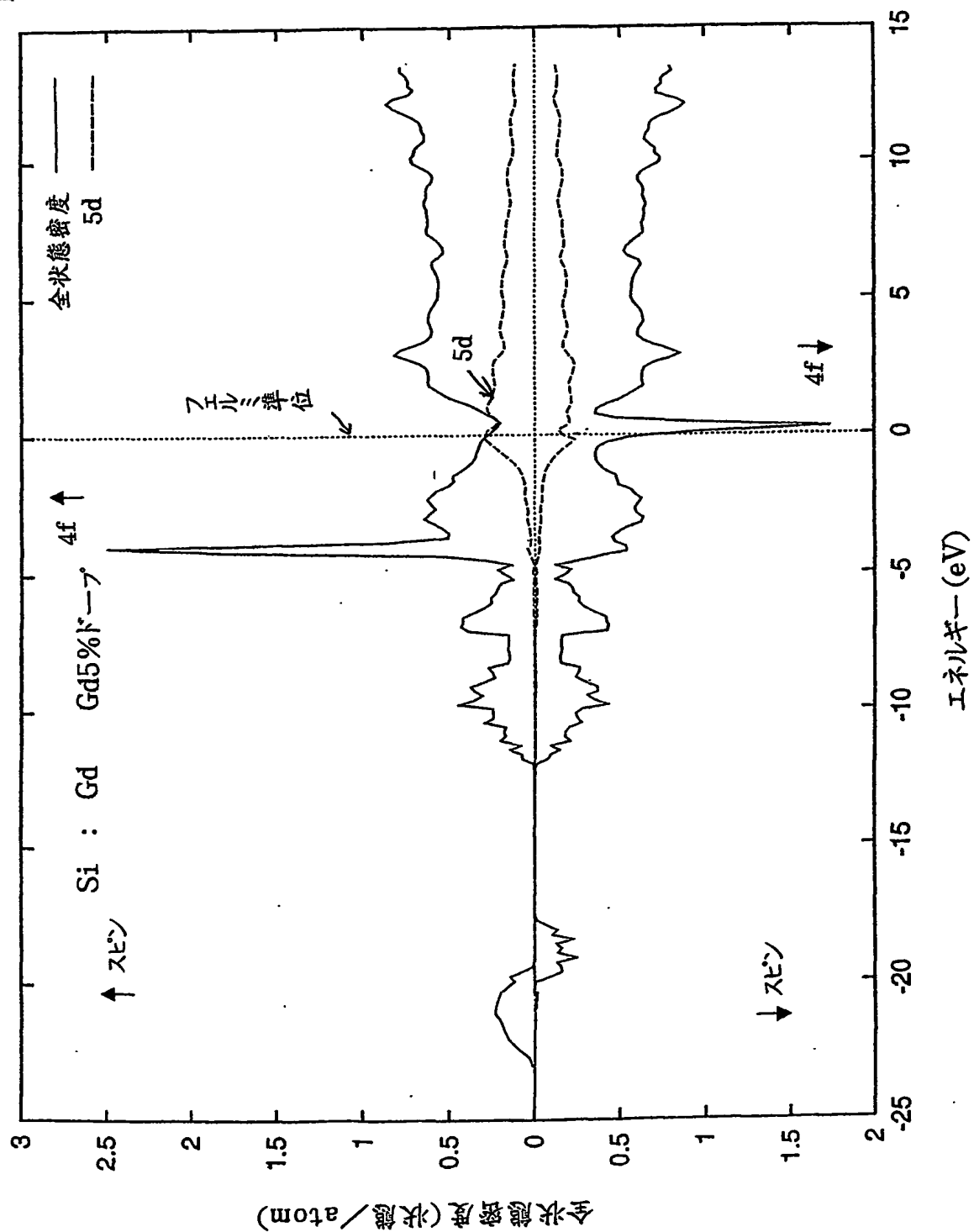
1 請 求 の 範 囲

- 1 1. IV族系半導体、III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体に、
5 Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの希土類金属元
素よりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属が含有されていることを特徴と
する強磁性IV族系半導体、強磁性III-V族系化合物半導体、または強磁性II-VI
族系化合物半導体。
2. n型ドーパントおよびp型ドーパントの少なくとも一方がドーピングされてい
ることを特徴とする請求の範囲第1項記載の強磁性IV族系半導体、強磁性III-V
1 0 族系化合物半導体、または強磁性II-VI族系化合物半導体。
3. III-V系化合物半導体に、Gdと共にドナーが含有されていることを特徴とす
る強磁性III-V系化合物半導体。
4. n型ドーパントおよびp型ドーパントの少なくとも一方がドーピングされてい
ることを特徴とする請求の範囲第3項記載の強磁性III-V族系化合物半導体。
- 1 5 5. 請求の範囲第1項ないし第4項のいずれかに記載の半導体を用い、その磁気
光学効果を利用する磁気光学スピニエレクトロニクスデバイス。
6. IV族系半導体、III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体に、
(1) Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの希土類
金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも2種の金属元素
2 0 (2) 前記希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも2種の金属元素と、
Th、Pa、U、Np、Pu、Am、Cm、Bk、Cf、Es、Fm、Md、NoおよびLrよりなる群から
選ばれる少なくとも1種の金属元素、および

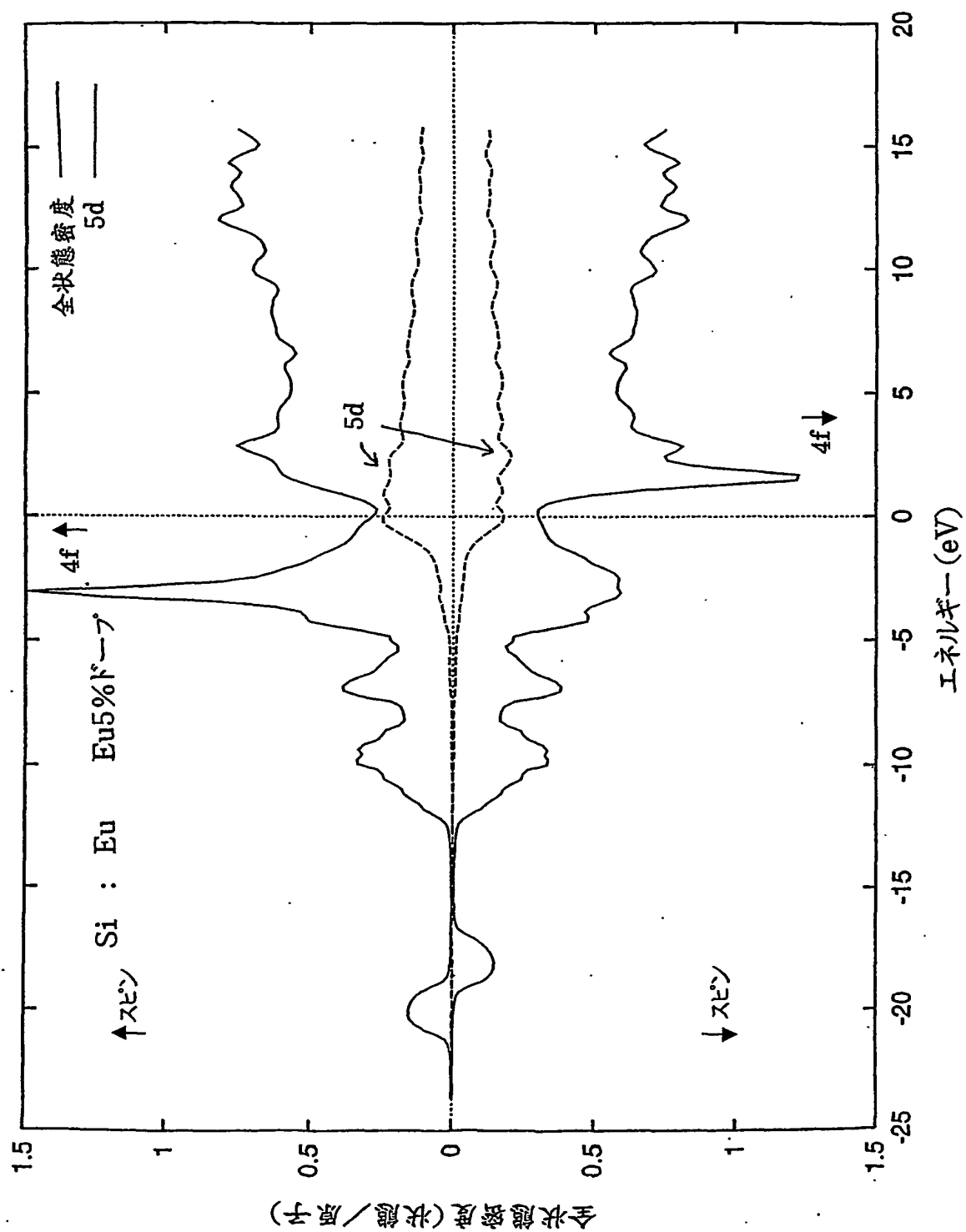
- 1 (3) 前記(1)または(2)と、n型ドーパントおよびp型ドーパントの少なくとも一
方、
のいずれかを添加し、前記希土類金属元素の組合せにより強磁性IV族系半導体、
強磁性III-V族系化合物半導体、または強磁性II-VI族系化合物半導体の強磁性
5 特性を調整する方法。
7. 強磁性特性が強磁性転移温度であることを特徴とする請求の範囲第6項記載
の強磁性特性を調整する方法。
8. 請求の範囲第6項記載の方法において、希土類金属元素を少なくとも2種以
上混晶させ、強磁性のエネルギー状態を調整するとともに、該金属元素自身によ
1 0 り導入されたホールまたは電子による運動エネルギーによって全エネルギーを低
下させることにより、強磁性状態を安定化させる方法。
9. 請求の範囲第6項記載の方法において、希土類金属元素を少なくとも2種以
上混晶させ、該希土類金属元素自身により導入されたホールまたは電子によって、
希土類金属原子間の磁氣的相互作用の大きさと符号を制御するとともに、該希土
1 5 類金属元素の混晶による光の透過特性を制御することにより、所望の光フィルタ
特性を有する強磁性IV族系半導体、強磁性III-V族系化合物半導体、または強磁
性II-VI族系化合物半導体とする方法。
- 1 0. IV族系半導体、III-V族系化合物半導体、またはII-VI族系化合物半導体
に、
2 0 (1) Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、YbおよびLuの希土類
金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属元素、
(2) 前記希土類金属元素よりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属元素と、

- 1 Th、Pa、U、Np、Pu、Am、Cm、Bk、Cf、Es、Fm、Md、NoおよびLrよりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属元素、および
- (3) 前記(1)または(2)と、n型ドーパントおよびp型ドーパントの少なくとも一方、
- 5 のいずれかを添加し、前記希土類金属元素、Th、Pa、U、Np、Pu、Am、Cm、Bk、Cf、Es、Fm、Md、NoおよびLrよりなる群から選ばれる少なくとも1種の金属元素、またはn型ドーパントもしくはp型ドーパントの濃度の調整により強磁性IV族系半導体、強磁性III-V族系化合物半導体、または強磁性II-VI族系化合物半導体の強磁性特性を調整する方法。
- 10 11. 強磁性特性が強磁性転移温度であることを特徴とする請求の範囲第10項記載の強磁性特性を調整する方法。
12. 請求の範囲第10項記載の方法において、希土類金属元素を少なくとも2種以上混晶させ、強磁性のエネルギー状態を調整するとともに、該金属元素自身により導入されたホールまたは電子による運動エネルギーによって全エネルギー
- 15 を低下させることにより、強磁性状態を安定化させる方法。
13. 請求の範囲第10項記載の方法において、希土類金属元素を少なくとも2種以上混晶させ、該希土類金属元素自身により導入されたホールまたは電子によって、希土類金属原子間の磁氣的相互作用の大きさと符号を制御するとともに、該希土類金属元素の混晶による光の透過特性を制御することにより、所望の光フ
- 20 イルタ特性を有する強磁性IV族系半導体、強磁性III-V族系化合物半導体、または強磁性II-VI族系化合物半導体とする方法。

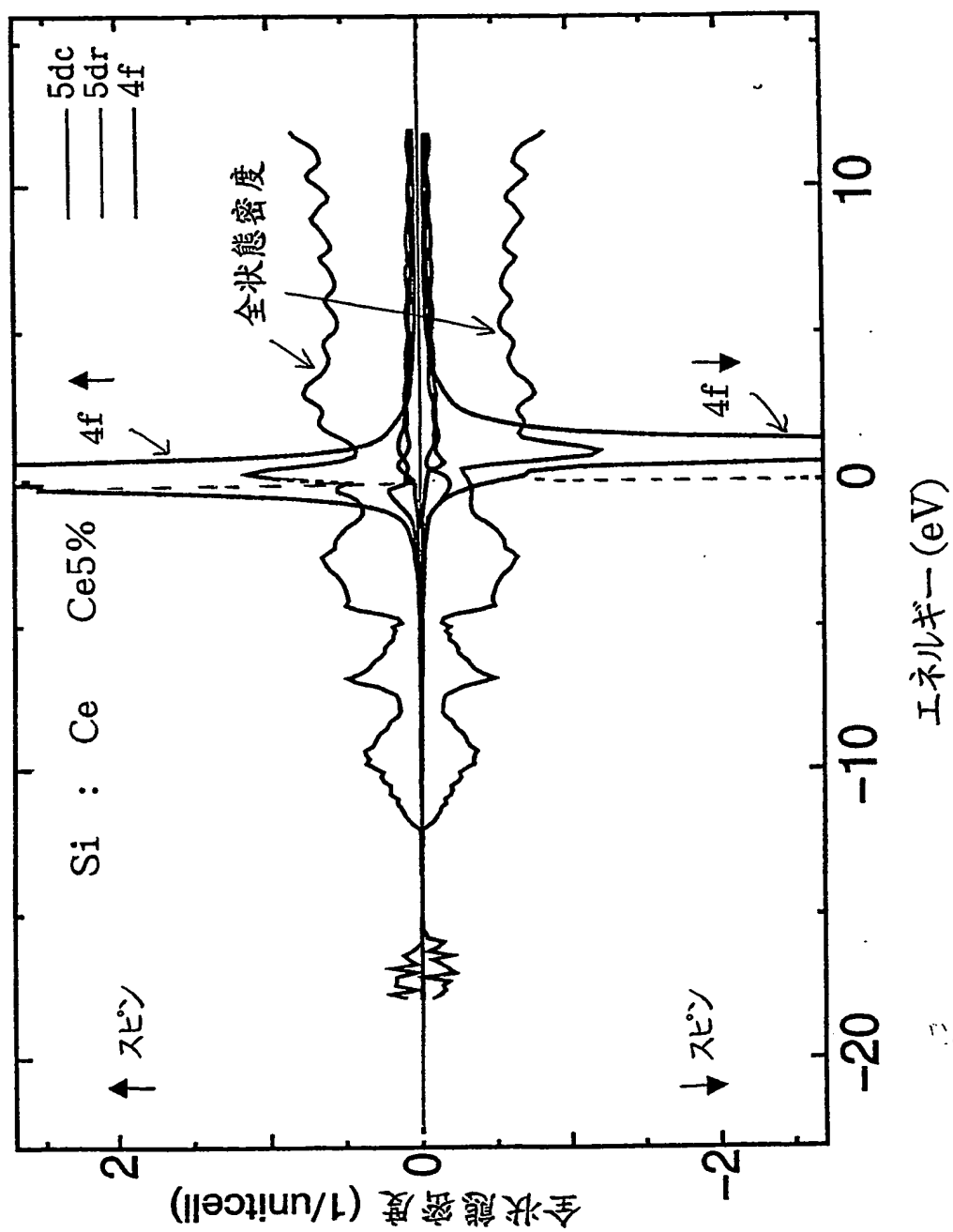
第1図



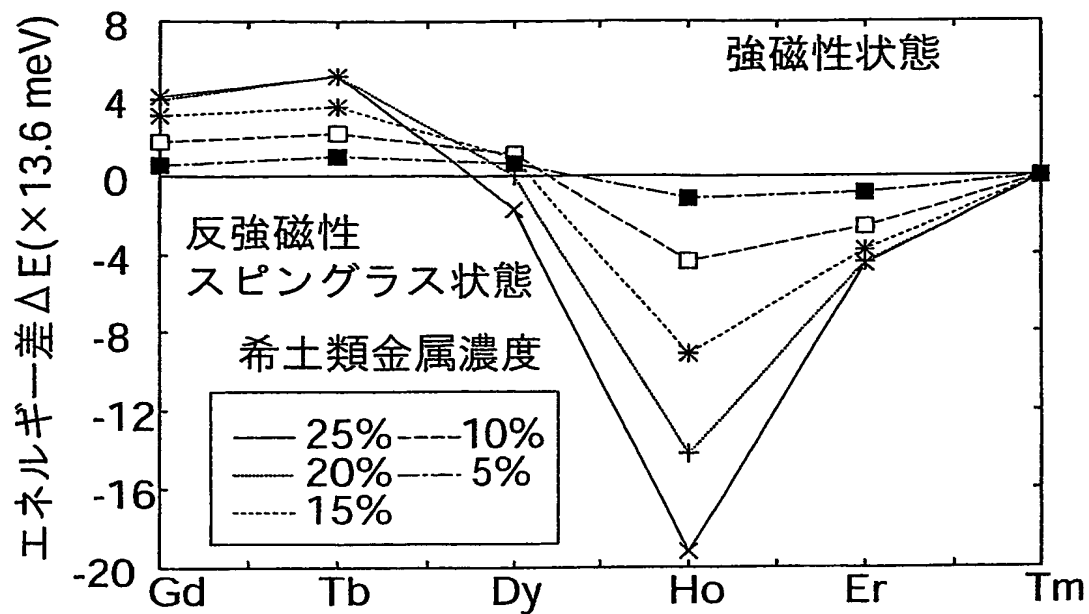
第2図



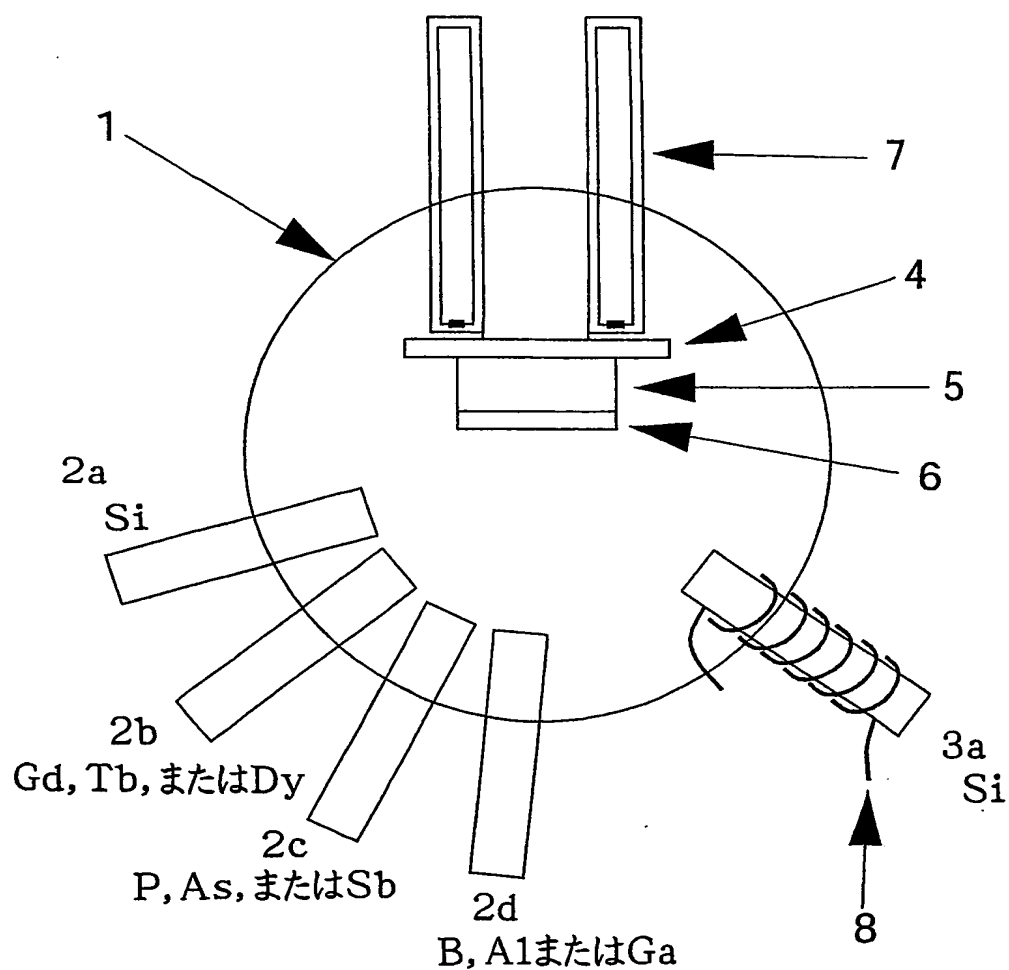
第3図



第4図

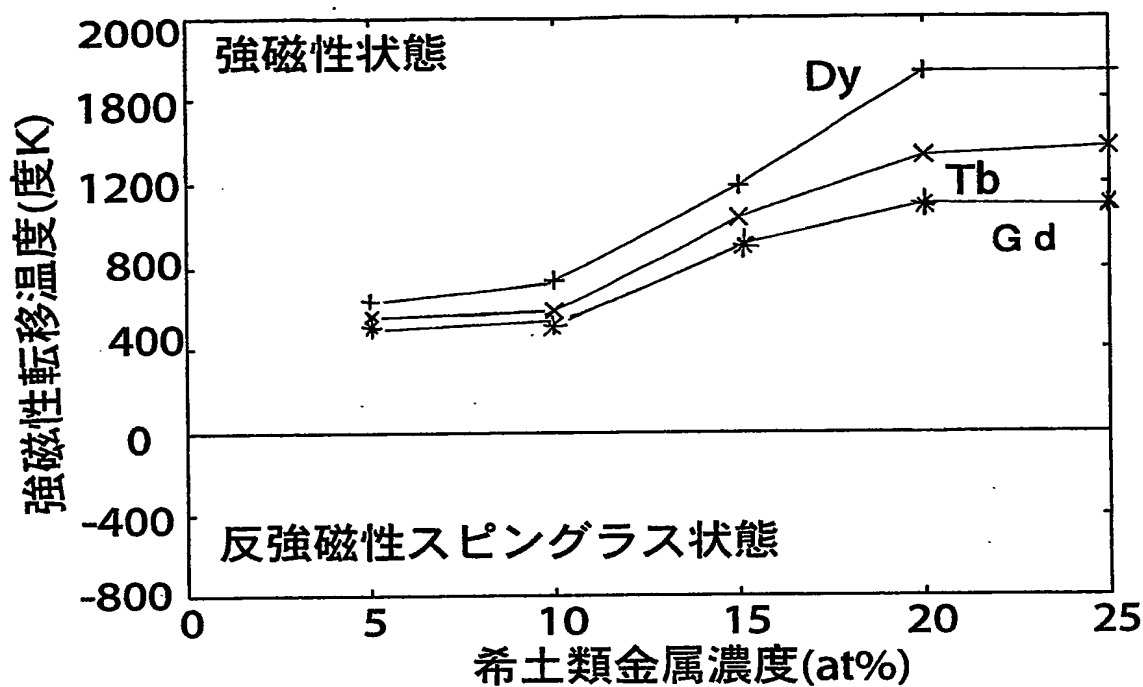


第5図

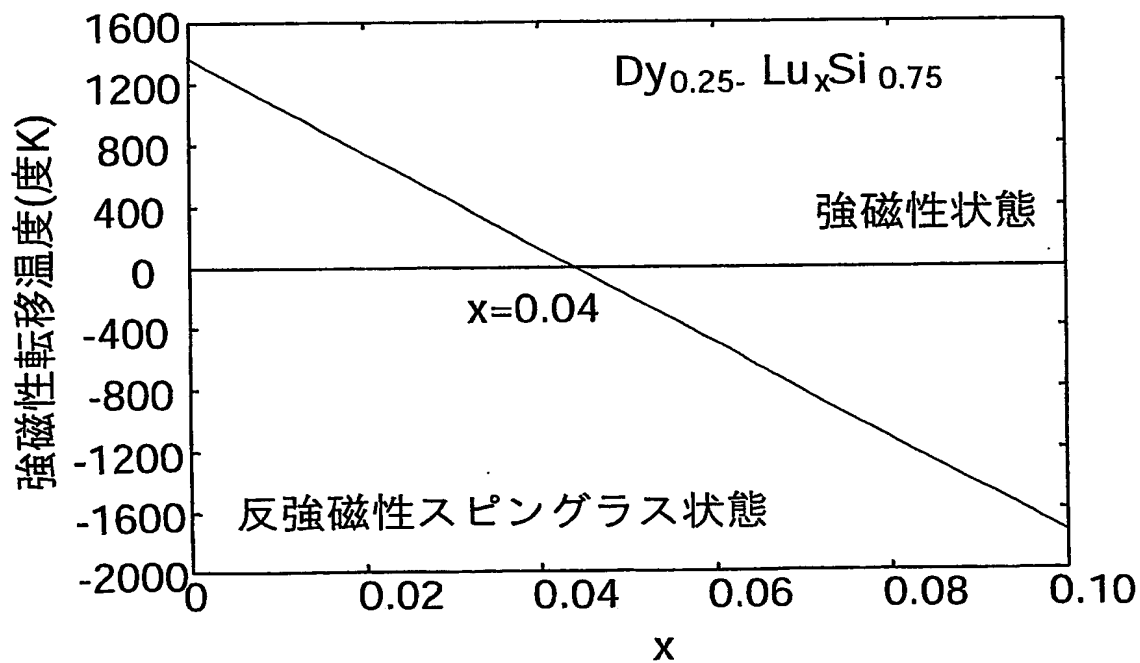


5/7

第6図

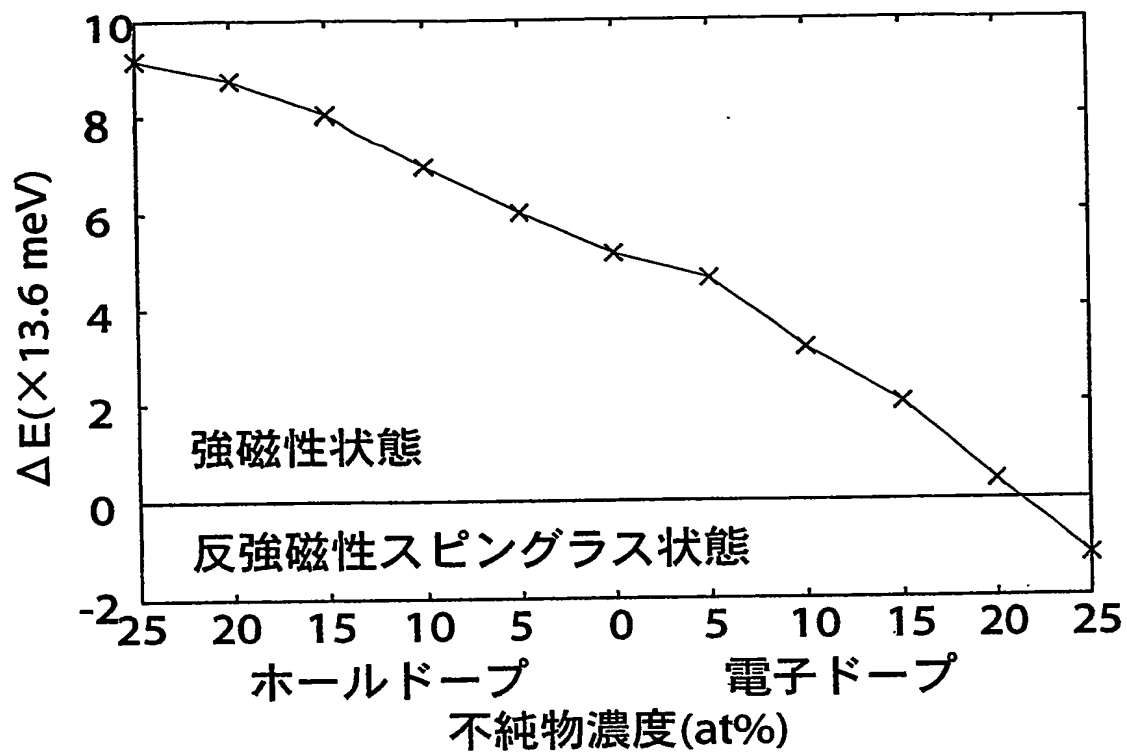


第7図

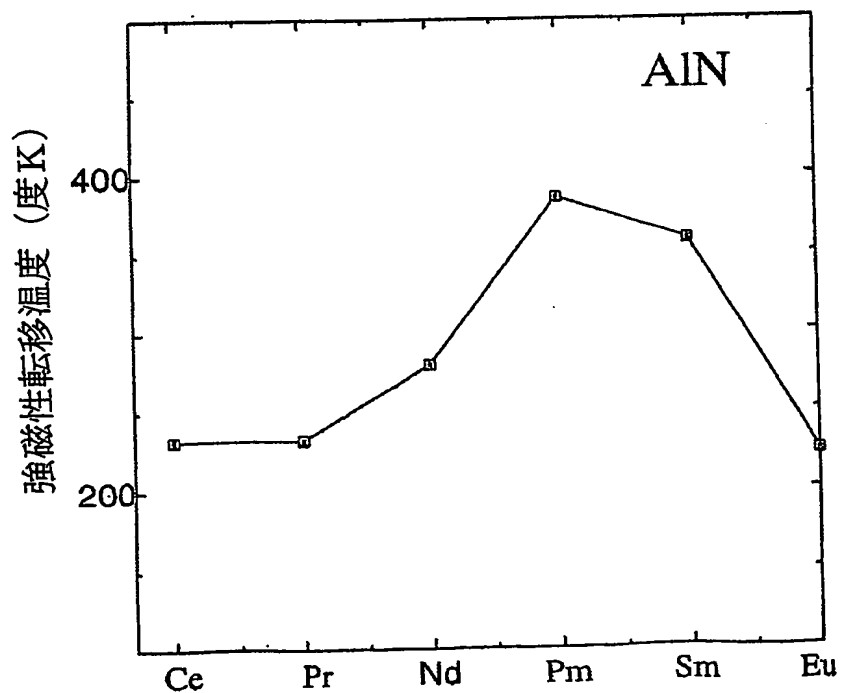


6/7

第8図

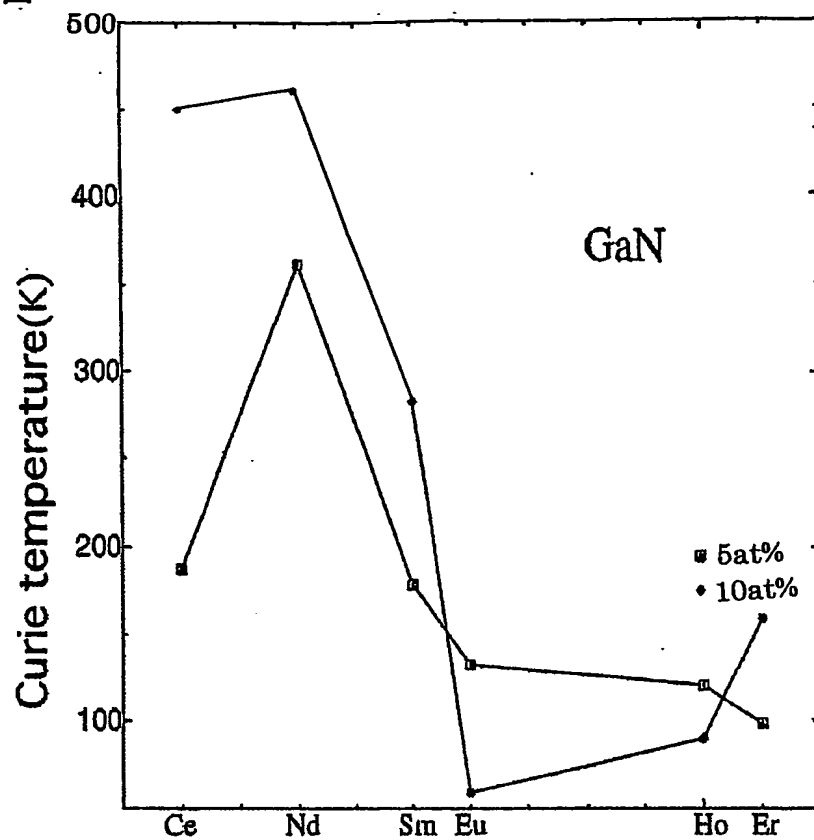


第9図

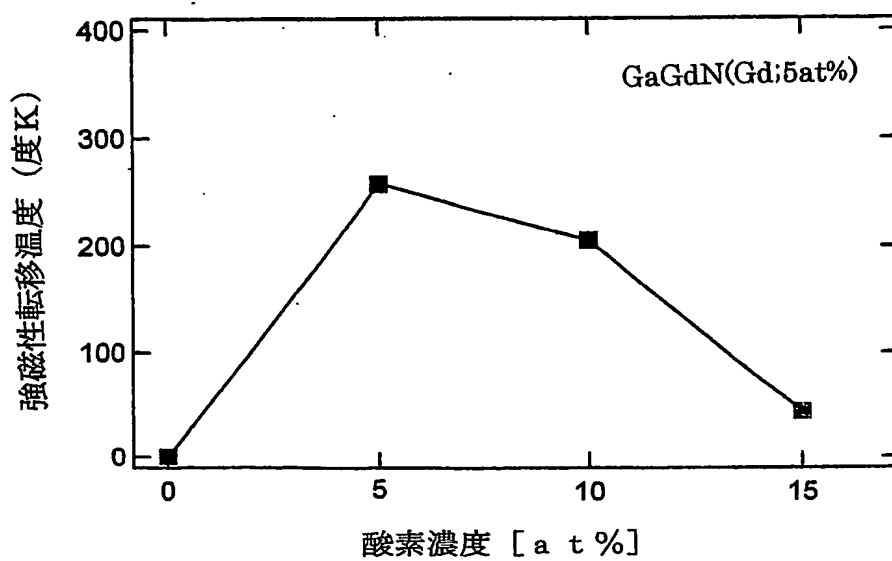


7/7

第 1 0 図



第 1 1 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/07161

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ H01F10/193, G02F1/09, G02B27/28

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ H01F10/193, H01F1/00, G02F1/09, G02B27/28

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-108951 A (Zaidan Hojin Rikogaku Shinkokai), 20 April, 2001 (20.04.01), Full text; all drawings (Family: none)	1-13
Y	JP 3-11703 A (International Business Machines Corp.), 21 January, 1991 (21.01.91), Full text; all drawings & DE 69008770 C & EP 400263 A1 & US 5294287 A1 & US 5296048 A1 & US 5321527 A1	1-13

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
05 August, 2003 (05.08.03)

Date of mailing of the international search report
19 August, 2003 (19.08.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/07161

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 49-17184 A (Siemens AG.), 15 February, 1974 (15.02.74), Full text; all drawings & BE 797601 A & NL 7304197 A & LU 67326 A & FR 2178183 A & DE 2215878 A & IT 981646 B & GB 1413431 A	1-13
Y	JP 48-73798 A (Siemens AG.), 04 October, 1973 (04.10.73), Full text & LU 66780 A & BE 793545 A & NL 7215983 A & DE 2165588 A & FR 2165984 A & IT 971888 B & GB 1388707 A	1-13

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01F 10/193, G02F 1/09, G02B 27/28

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01F 10/193, H01F 1/00, G02F 1/09, G02B 27/28

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2003年

日本国登録実用新案公報 1994-2003年

日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 2001-108951 A (財団法人 理工学振興会) 2001. 04. 20, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-13
Y	J P 3-11703 A (インターナショナル・ビジネス・マシ ンズ・コーポレーション) 1991. 01. 21, 全文, 全図 & DE 69008770 C & EP 400263 A1 & US 5294287 A1 & US 5296048 A1 & US 53215 27 A1	1-13

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

05. 08. 03

国際調査報告の発送日

19.08.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山田 正文



5 R

8835

電話番号 03-3581-1101 内線 3565

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 49-17184 A (シーメンス、アクチエンゲゼルシャ フト) 1974. 02. 15, 全文, 全図 & BE 797601 A & NL 7304197 A & LU 67326 A & FR 2178183 A & DE 2215878 A & IT 981646 B & GB 1413431 A	1-13
Y	JP 48-73798 A (シーメンス、アクチエンゲゼルシャ フト) 1973. 10. 04, 全文 & LU 66780 A & B E 793545 A & NL 7215983 A & DE 2165588 A & FR 2165984 A & IT 971888 B & GB 1388707 A	1-13